

MONITOROVACÍ A PORADNÝ SYSTÉM PRE VYPALOVANIE ŽIARUVZDORNÉHO MATERIÁLU VO VSŽ KERAMIKA S.R.O. KOŠICE

Igor Leššo¹ a Karol Kostúr¹

MONITORING AND ADVISORY SYSTEM FOR REFRACTORY MATERIALS FIRING PRODUCTION IN VSŽ KOŠICE

The tunnel furnace produces refractory building materials. Various types of building materials are fired in the temperature interval 1450 - 1700 °C. The tunnel furnace is approximately 160 m long and consists of 53 moduls, each about length 3 m. Usually three zones of the tunnel furnace are considering: warming, firing and colding. The furnace works in upstream regime. The fired material moves against the flow of cold air and combustion products. The fuel is the earth gas.

The paper is devoted to pointing out some opportunities for the use of classical IBM PC compatible computers for the design of small on-line real-time systems. PC's data acquisition card provides high transfer rate for data transfer and primary processing of measured values of technological processes in a tunnel furnace.

Key words: tunnel furnace, fired material, on-line real-time systems, high transfer rate for processes data, DMA -direct memory access, data acquisition cards, monitoring and advisory system.

Úvod

Úlohou monitorovacieho systému technologického procesu vo všeobecnosti je získať spoľahlivé informácie o stave procesu na základe vykonávaných meraní, tieto informácie spracovať, vyhodnotiť vo vhodnej forme ich poskytnúť v obsluhu. Časť informácií je možné archivovať pre prípad ich neskoršieho využitia (Malindžák, 1993). Kvalita a spoľahlivosť monitorovacieho systému je podmienená kvalitou a spoľahlivosťou samotného merania procesných veličín.

Katedra riadenia výrobných procesov Fakulty BERG TU v Košiciach už niekoľko rokov spolupracuje so spoločnosťou VSŽ Keramika Košice v oblasti riadenia výroby žiaruvzdorného materiálu (Kostúr, Leššo, 1993). V prevažnej miere ide o žiaruvzdorné stavivá. Typickými predstaviteľmi finálnych výrobkov sú stavivá KOSAM, ALKO, ALKOCEM, KOMUL ,td., ktoré sa vypaľujú v teplotnom intervale 1420°C až 1710°C.

Za účelom modernizácie pece a prípadného neskoršieho zavedenia riadiaceho systému, bola formulovaná úloha: vyriešiť a realizovať systém monitorovania procesu vypaľovania materiálu pri nízkych finančných nákladoch s využitím už inštalovanej meracej techniky, pri zachovaní funkčnosti pôvodného vyhodnocovacieho panelu vo velíne. Ďalej bolo požadované, aby tento systém na základe meraného stavu procesu poskytoval kvalifikované podklady a doporučenia obsluhu agregátu pre ručné ovládanie procesu v optimálnom režime.

Bolo teda potrebné v rámci riešenia pripojiť k existujúcej zastaralej technike počítač, ktorý by do maximálne možnej miery zvýšil úroveň sledovania procesu vypaľovania, a tým by pozitívne ovplyvnil kvalitu výroby.

1. Charakteristika procesu

Hlavným agregátom pri výrobe žiaruvzdorných stavív, ktorý najviac ovplyvňuje kvalitu a kvantitu produkcie, je tunelová pec. Tunelová pec patrí medzi priebežné protiprúdne tepelné agregáty. V divízii Keramika vo VSŽ a.s. Košice pracuje plynová tunelová pec, v ktorej sa vypaľuje žiaruvzdorný materiál rôznej kvality a tvarov. Táto vsádzka sa pohybuje v peci na vozíkoch postupne po jej celej dĺžke (160 m). Pec je rozdelená na 54 modulov (0. až 53.),

¹ Katedra riadenia výrobných procesov F BERG Technickej univerzity, 040 00 Košice, ul. Boženy Němcovej 3.

pričom páliace pásmo pece sa nachádza v 25. až 34. module, kde sú umiestnené plynové horáky. Časť horúceho vzduchu z konca pece je vháňaná späť do predohrievacieho pásma pece, časť do sušiarne pripravenej vsádzky. Požadovaná vypaľovacia krivka pre jednotlivé materiály je dosahovaná vhodným nastavením teplôt v každom module páliaceho pásma, ale aj množstvom vháňaného horúceho vzduchu do predohrievacieho pásma pece.

Jednotlivé procesné veličiny sú priebežne snímané snímačmi, umiestnenými v samotnom agregáte, odkiaľ sú ich signály privedené do veľína a tu vyhodnocované klasickými analógovými výchylkovými indikátormi na meracom paneli. V prvej etape riešenia bolo snímaných 2x7 teplôt

v páliacom pásme (ľavá a pravá strana pece) radiačnými pyrometrami, ďalej celkové množstvo chladiaceho vzduchu delené do modulov 47 až 51, množstvo chladiaceho vzduchu sústredeného do modulov 52 a 53 a množstvo vzduchu odoberaného z modulov 42 a 45 do sušiek. Meralo sa tiež celkové množstvo a tlak zmesného plynu spaľovaného v horákoch páliaceho pásma, ďalej tlak pecnej atmosféry a obsah kyslíka v spalinách. Neskôr boli firmou Procesná automatizácia VSŽ a.s. Košice všetky pyrometre páliaceho pásma nahradené termočlámkami a ďalšie meracie termočlánky boli umiestnené do niektorých modulov predohrievacieho a chladiaceho pásma. Na unifikáciu signálov termočlánkov boli použité programovateľné prevodníky firmy JUMO. V súčasnosti sa meria spolu 21 teplôt v rôznych miestach pozdĺž pece.

2. Základné problémy pri riešení úlohy

Jednou zo špecifičností tejto úlohy bol fakt, že moderná číslicová technika sa mala napojiť na klasickú meraciu techniku bez narušenia pôvodnej analógovej indikácie. Pritom náklady na riešenie boli limitované pomerne nízkou finančnou čiastkou.

V etape riešenia bolo treba hľadať odpoveď na dve základné otázky:

- akými technickými a programovými prostriedkami sa napojiť na existujúci klasický merací systém a dosiahnuť pritom dostatočnú spoľahlivosť merania všetkých procesných veličín,
- aké funkcie definovať pre tento nový monitorovací a poradný systém tak, aby došlo ku kvalitatívnemu zlepšeniu informovanosti obsluhy agregátu a tým aj k zlepšeniu podmienok pre rozhodovanie sa v procese ovládania vypaľovania vsádzky.

2.1 Princíp snímania a predspracovania procesných veličín

Samotné snímanie technologických veličín sa vykonáva už inštalovanou a doteraz používanou snímacou technikou. Teploty v páliacom pásme sú snímané termočlámkami, množstvá plynu a vzduchov snímačmi tlakovej diferencie. Výstupné napätové signály týchto snímačov sú unifikované pomocou prúdových prevodníkov na prúdové signály 0-20 mA, ktoré sú privedené do centrálného veľína. Tu sa niektoré z nich upravujú opäť na napätové signály 0 až 1 V. Tieto analógové signály sú vyhodnocované klasickými analógovými výchylkovými systémami vo veľíne.

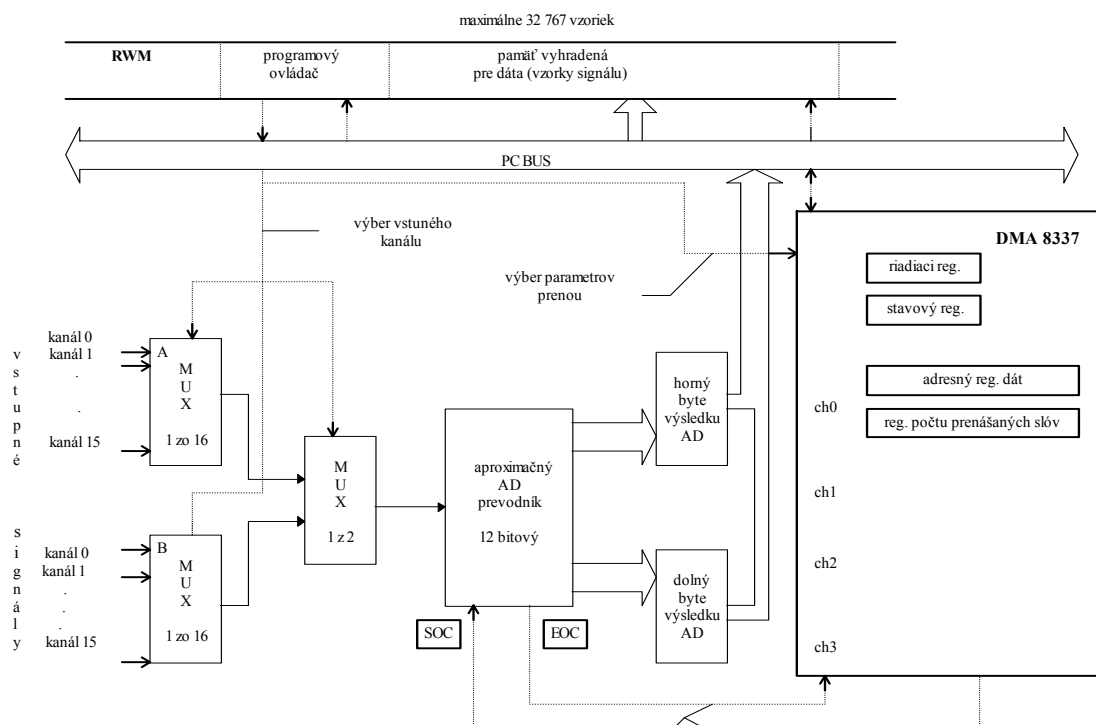
Analógové signály snímačov, ktoré sú nositeľmi informácií o hodnotách snímaných spojitých procesných veličín, obsahujú okrem samotnej informácie aj skresľujúce zložky. Ide o nasuperponované vysokofrekvenčné šумы, o harmonické vlnenia nižšej frekvencie a popri prípade o lineárne amplitúdové a frekvenčné skreslenia. Vplyvom krátkodobých porúch v sledovanom procese alebo v meracom systéme sa môžu v signále objaviť aj skresľujúce trendy.

Klasická analógová vyhodnocovacia technika nie je tak citlivá na rušenie signálov, pretože

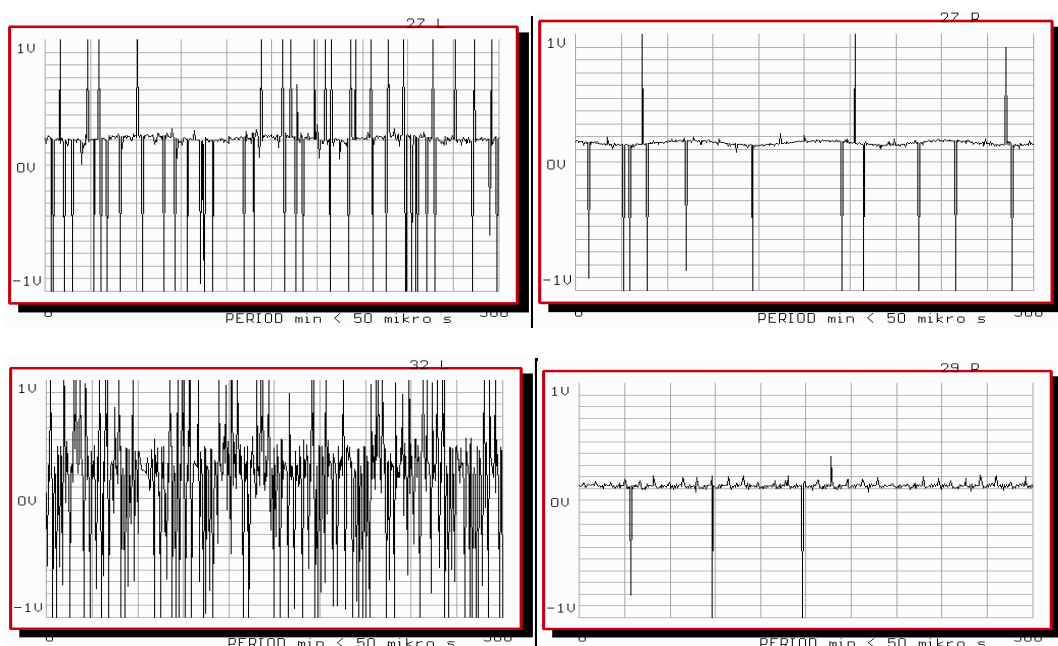
z jej konštrukcie vyplýva určitá zotrvačnosť a integračný charakter na vstupe. Na druhej strane číslicová technika, a teda aj novonavrhané technické riešenie monitorovacieho systému, je veľmi citlivé na rušiacie zložky v signále. Preto bolo nutné hľadať vhodné algoritmy číslicovej filtrácie signálov snímačov.

Syntéze číslicových filtrov musí predchádzať identifikácia signálu jednotlivých snímačov, aby bolo možné zistiť charakter prípadného ich rušenia. Z dôvodu získania čo najpravdivejších informácií o vlastnostiach signálov prichádzajúcich z jednotlivých snímačov, bol jednorázovo vykonaný zber ich hodnôt s najvyššou možnou frekvenciou vzorkovania. Použitý bol pri tom špeciálny programovateľný riadiaci obvod prenosov DMA typu INTEL 8237 [Advantech Co, 1992],[Striewski, 1992]. Tento umožnil prenos snímaných informácií priamo do operačnej pamäti bez účasti CPU. Tým bol dosiahnutý analógovo-digitálny (AD) prenos s maximálnou rýchlosťou, a teda s najväčšou možnou frekvenciou vzorkovania (30 kHz, limitované dobou AD prevodu). Princíp je znázornený na obr. 1.

Prvé vyhodnotenia zosnímaných signálov ukázali, že medzi rušeniami prenosových ciest jednotlivých snímačov je rozdiel. Ako vyplýva z obr.2., väčšina signálov má nasuperponované vysokofrekvenčné rušenia, ktoré sú zvlášť výrazné u niektorých termočlánkov. Naopak, minimálne rušenie je u signálov snímačov tlakových diferencií. Tak isto sa u väčšiny signálov termočlánkov objavuje harmonické rušenie nízkej frekvencie. Ani v jednom signále neboli badateľné trendy. Vzhľadom na veľkú citivosť snímačov (1000 °C / V) by boli ich signály bez adekvátneho predspracovania nepoužiteľné.



Obr.1. Schéma rýchleho prenosu snímaných vzoriek signálu snímača metódou DMA.



Obr.2. Priebehy signálov niektorých snímačov, získané metódou DMA.

Snímané procesné veličiny tunelovej pece ako také predstavujú náhodné funkcie. Ich náhodnosť je daná prítomnosťou šumov, vznikajúcich ako poruchy v samotnom procese

alebo pri prenose výstupných signálov snímačov k počítaču. Podľa Shannon-Kotelnikovho teorému ($f_{\max}=0.5 f_{VZ}$) dosiahnutá frekvencia vzorkovania $f_{VZ}=30$ kHz umožňuje v snímanom spojitom signále rozlíšiť zložky s frekvenciou v intervale $\langle 0, 15$ kHz). Zložky vyššej frekvencie budú maskované nižšími frekvenciami.

Pre syntézu účinných číslicových filtrov, ktoré by odfiltrovali zo signálov snímačov rušivé zložky, bolo potrebné previesť podrobnejšiu analýzu týchto signálov:

Uvažujme všeobecne teplotu vsádzky v jednom vybranom module pece, snímanú termočlánkom. Analógový výstup termočlánku, ktorého hodnota je úmerná hodnote meranej teploty vsádzky pece sa v štandardizovanom tvare prenáša na vstup prevodníkovej karty počítača už v zašumenom tvare a predstavuje spojitú náhodnú funkciu (proces) (Lavrin, 1985):

$$U = U(\tau) . \quad (1)$$

Náhodná funkcia $U(\tau)$ je spoľahlivejšie reprezentovaná niekoľkými za sebou realizovanými sériami meraní jej priebehu, ktorým hovoríme realizácie. Jedna séria potom predstavuje jednu realizáciu náhodnej funkcie $U(\tau)$. Dostávame definíciu spojitú náhodnej funkcie

$$U(\tau) = \{ u_1(\tau), u_2(\tau), \dots , u_i(\tau), \dots , u_n(\tau) \} , \quad (2)$$

kde n - počet realizácií funkcie $U(\tau)$,
 $u_i(\tau)$ - i -tá realizácia funkcie $U(\tau)$; $i \in \langle 1, n \rangle$.

Náhodná funkcia $U(\tau)$ potom nadobúda v čase τ_j hodnoty, ktoré sú definované skalármi:

$$U(\tau_j) = u_1(\tau_j), u_2(\tau_j), \dots, u_i(\tau_j), \dots , u_n(\tau_j) \quad (3)$$

Vyššie popísanými prostriedkami DMA (Direct Memory Access) bolo pri najvyššej možnej frekvencii vzorkovania (30 kHz) získaných 10 realizácií náhodnej funkcie $U(\tau)$ po 500 vzoriek s konštantnou periódou ($\tau_p = 33 \cdot 10^{-6}$ s).

Pri počítačovom vyhodnotení realizácii náhodnej funkcie prechádzame zo spojitého tvaru do diskrétného. Náhodná funkcia $U(\tau)$ je potom daná tabuľkou " n " realizácií po " m " vzoriek signálu:

$$U(\tau_j) = u_1(\tau_j), u_2(\tau_j), \dots , u_i(\tau_j), \dots , u_n(\tau_j) , \quad (4)$$

kde $j = 1, 2, \dots , m$,
 m - počet vzoriek signálu v i -tej realizácii ($m=500$),
 n - počet realizácií signálu .

Z hľadiska vlastností signálov snímačov a spôsobu ich ďalšieho spracovania bolo dôležité si overiť ich stacionaritu a ergodičnosť. Nakoľko signál je náhodnou funkciou, vychádzali sme pritom z niektorých základných štatistických charakteristík, vypočítavaných z jednotlivých realizácií signálu:

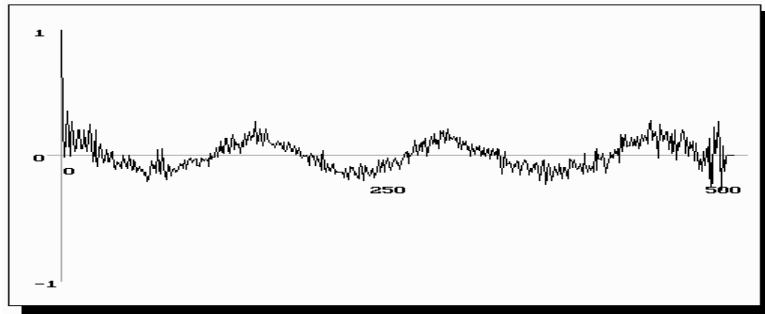
odhad strednej hodnoty náhodnej funkcie $U(\tau)$:

$$\mu_U(\tau_j) = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n u_i(\tau_j) , \quad j=1, 2, \dots , m \quad (5)$$

odhad rozptylu náhodnej funkcie $U(\tau)$:

$$\sigma^2(\tau_j) = 1/(n-1) \cdot \sum_{i=1}^n [u_i(\tau_j) - \mu_U(\tau_j)]^2 , \quad j=1, 2, \dots , m \quad (6)$$

Nakoľko hodnota kovariančnej funkcie nezávisí od počiatkovej hodnoty τ_j , ale od časového posunutia $\tau = \tau_j' - \tau_j$, boli vypočítané priemerné hodnoty normovanej kovariančnej funkcie pre jednotlivé veľkosti časového posunutia τ a vynesené do grafu:



$f_L = 200$ Hz

Obr.3. Priebek normovanej kovariančnej funkcie signálu.

Oscilácie normovanej kovariančnej funkcie signálu sú dôsledkom nasuperponovaného nízko-frekvenčného rušenia, ktorého frekvencia podľa grafu je asi 200 Hz.

Z časovo homogénneho priebehu jednotlivých realizácií bolo možné predpokladať stacionárny charakter náhodnej funkcie $U(\tau)$. Nasvedčuje tomu aj priebeh jej strednej hodnoty a rozptylu v závislosti na čísle "j" vzorky v realizácii. Určité odchýlky týchto parametrov od ich strednej hodnoty nie sú štatisticky významné.

Za vyššie uvedeného predpokladu stacionárnosti náhodnej funkcie $U(\tau)$ môžeme pre túto funkciu vypočítať jej stacionárne charakteristiky, ktoré sú potom nezávislé na čase jej snímania. Pre konkrétny signál dostávame:

odhad strednej hodnoty stacionárneho náhodného signálu $U(\tau)$:

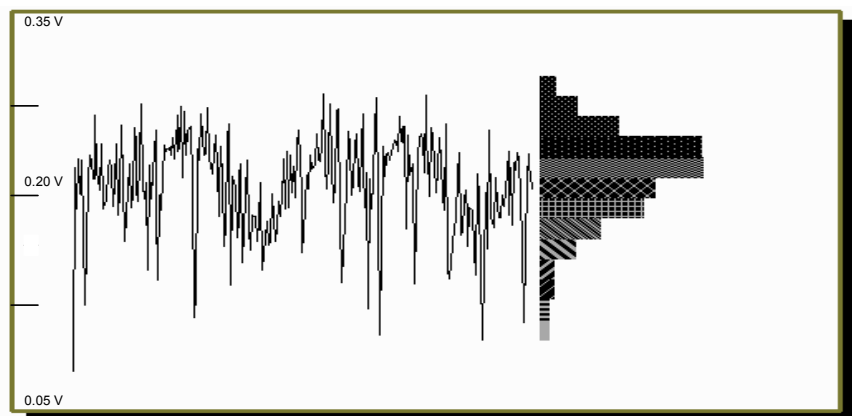
$$(7) \quad \mu_U = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \mu_{U(\tau_j)} = 0.269 \quad [V]$$

odhad rozptylu stacionárneho náhodného signálu $U(\tau)$:

$$(8) \quad \sigma_U^2 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \sigma_{U(\tau_j)}^2 = 0.0029 \quad [V]$$

Pre spojitý signál $U(\tau)$, obsahujúci rušenia, bolo výpočtom stanovené empirické rozdelenie hustoty pravdepodobnosti $p(U)$, reprezentované histogramom relatívnych početností vzoriek

v jednotlivých intervaloch hodnôt signálu (obr.4). Zo spracovania boli vzhľadom na podstatu signálu vylúčené vzorky mimo intervalu $\langle 0.1V, 0.3V \rangle$:



Obr.4. Histogram relatívnych početností vzoriek v jednotlivých intervaloch hodnôt signálu

Uvedenú empirickú hustotu pravdepodobnosti $p(U)$ je možné aproximovať Gaussovým rozdelením, čo sa dá overiť štatistickými testami dobrej zhody.

Preukázaná stacionarita a ergodičnosť signálov snímačov umožnila použiť vysokofrekvenčný číslicový filter rekurzívneho typu s postupným spriemerňovaním (Leššo, 1994).

Filter využíva M -hodnôt výstupného signálu a jednu hodnotu vstupného signálu. Podľa [Lavrin, 1985] by mala časová konštanta T_{VZ} ako interval vzorkovania vychádzať v praxi z požiadaviek na čo najpresnejšiu informáciu o zložkách signálu s vyššou frekvenciou.

Doporučuje sa

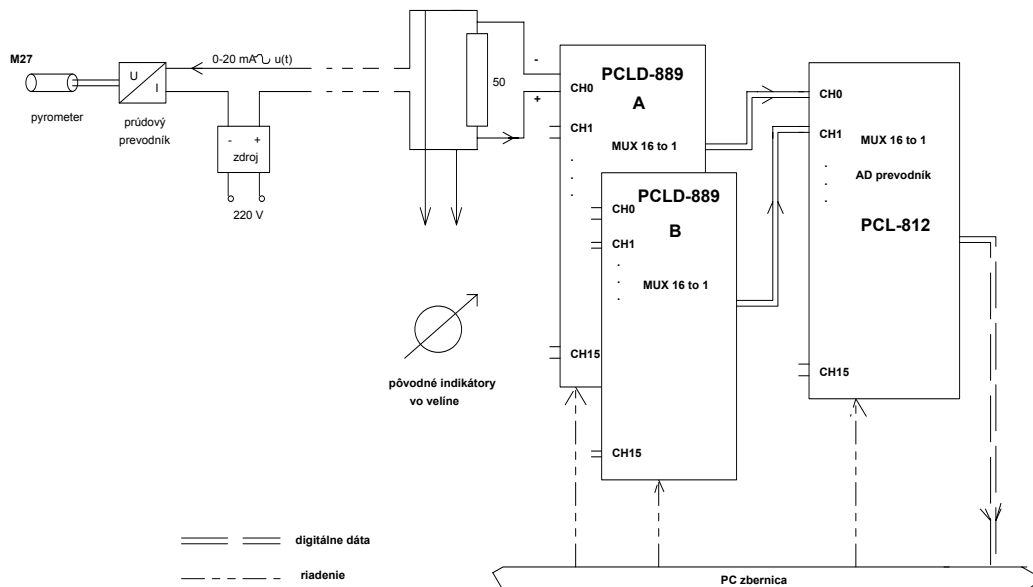
$$T_{VZ} \leq 1/(2 \cdot f_{\max}) = 1/((5 \div 10) \cdot f_{\max}), \quad (9)$$

kde $1/f_{\max}$ je najkratšia perióda v realizácii signálu.

Počet spriemerňovaných vzoriek M sa stanovuje podľa charakteru signálu snímača.

Na vstupe AD prevodníka bol pre každý kanál priradený analógový dolnoproiepný RC filter s medznou frekvenciou $f_0 = 417$ Hz a s časovou konštantou $T_0 = 2.4$ ms. Tento prepúšťa nízko-frekvenčné rušenie signálu $U(\tau)$ o frekvencii pod 200 Hz, je však čiastočne účinný voči vysokofrekvenčným rušeniam, ktoré potláča.

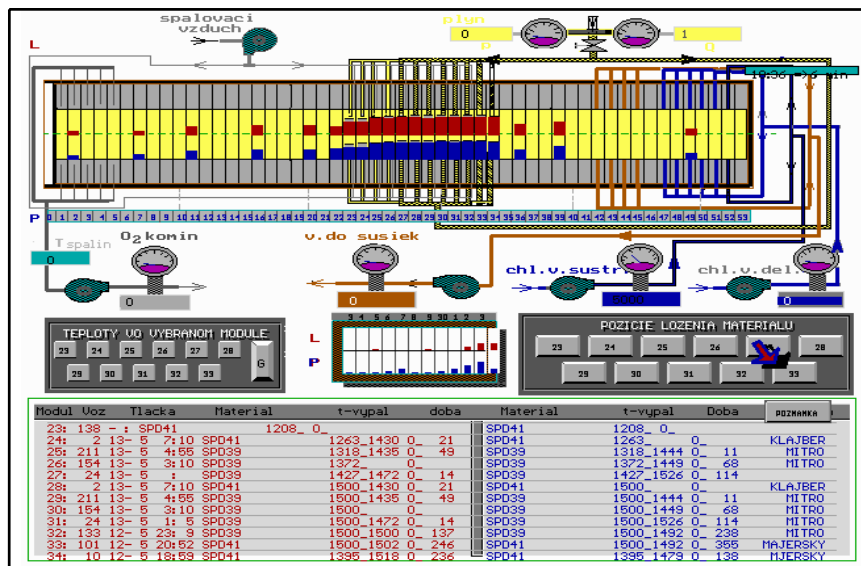
Samostatným problémom bola otázka návrhu technického riešenia. Bolo potrebné napojiť vhodný typ počítača na technologický proces prostredníctvom sústavy analógových a dvojhodnotových vstupov. Vyššie popísaný stav merania bol východiskom pre návrh. K počítačovému systému neboli pripojené priamo napäťové signály snímačov, ale až zodpovedajúce unifikované napäťové signály (0-1V), získané ako napäťové úbytky na rezistoroch 50Ω , zapojených priamo v prúdových slučkách 0-20 mA prúdových prevodníkov jednotlivých snímačov. Tieto unifikované napätia boli pripojené na vstupy dvoch multiplexorových kariet PCLD 889/A a PCLD 889/B firmy Advantech Co. Multiplexory sú pripojené na vstup prevodníkovej karty PCL 812 toho istého výrobcu. Všetky tri stykové karty sú pripojené priamo na zbernicu štandardného mikro počítača IBM PC/AT 386DX s taktovacou frekvenciou procesora 40 MHz. Špeciálne vyvinutý softwarový driver monitorovacieho systému programovo ovláda tieto multiplexory a striedavo pripája jednotlivé kanály na vstup stykovej karty PCL 812, zabezpečujúcej prevod analógového signálu snímača na odpovedajúcu digitálnu formu, vhodnú pre jeho ďalšie spracovanie počítačom. Tento spôsob pripojenia meraných signálov snímačov k počítaču typu IBM PC je principiálne znázornený na obr.5.



Obr.5. Princíp technického riešenia pripojenia procesných veličín k počítaču.

2.2 Funkcie systému

Navrhnutý a realizovaný systém plní tieto úknie: zber všetkých meraných procesných dát z tunelovej pece so zadanou periódou vzorkovania, archivácia všetkých meraných procesných dát na pevný disk so zadanou periódou archivácie, poskytovanie aktuálneho stavu vsádzky v peci z hľadiska sortimentu, ale aj z hľadiska stavu vypaľovania, grafické a číselné znázorňovanie priebehu teplôt, v jednotlivých moduloch pece, spolu s udaním požadovaných vypaľovacích teplôt v závislosti na práve umiestnenom materiáli v module, atď. Zvlášť dôležité sú poradné funkcie systému.



Obr.6. Jedna z monitorovacích obrazoviek systému (stav procesu v tunelovej peci).

Poradné (expertné) funkcie systému sú založené na znalosti systému o stave teplôt v meraných moduloch, na meraní spaľovacích pomerov plyných médií a na meraní dynamických dejov v peci po zásahoch operátora. Optimálne nastavenie paliva a spaľovacieho pomeru plyn/vzduch je závislé od vhodného nastavenia (regulácie) horákového systému tak, aby sa v čo najväčšom počte modulov páliaceho pásma dosiahla požadovaná vypaľovacia teplota (Dorčák, Prokop, Košťal, 1994).

Operátorovi v posudzovaní správnosti vlastných akčných zásahov do spaľovacieho a teplotného režimu pece pomáha systém tým, že priebežne vyhodnocuje dynamiku dejov, zobrazovaním aktuálneho prebytku vzduchu

$$m = \frac{V_{sk}}{V_{teor}}, \quad (10)$$

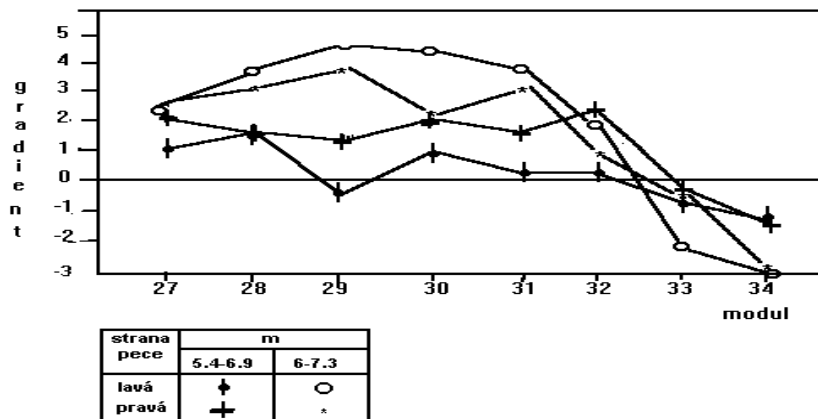
kde V_{teor} je teoretické množstvo vzduchu potrebné na spálenie 1 m^3 plynu (tzv. stechiometrické množstvo),

V_{sk} je skutočné celkové množstvo vzduchu dodávané na 1 m^3 plynu,

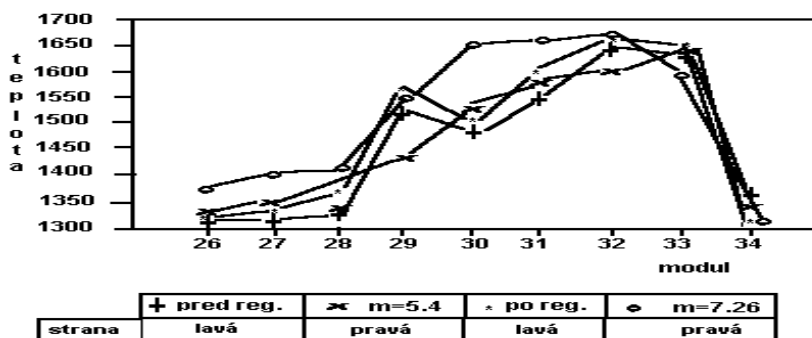
a zobrazovaním hodnôt teplotných gradientov v jednotlivých moduloch páliaceho pásma ako zmien teploty za časový interval posledných $\Delta\tau$ minút:

$$\text{grad } T = \frac{dT}{d\tau} \approx \frac{\Delta T}{\Delta\tau} = \frac{T(\tau) - T(\tau - \Delta\tau)}{\Delta\tau}. \quad (11)$$

Experimentálnym spôsobom bolo preukázané, že existuje optimálny prebytok spaľovacieho pomeru „m“, pri ktorom sa v páliacom pásme ako celku dosahujú najvyššie teploty (obr.7). Tento prebytok silne závisí od stavu pece (netesnosti), spôsobe loženia vsádzky. Na obr.8 je preukázané, že pre výpal na vysoké teploty je ako vhodný prebytok v štádiu nábehu hodnota $m = 7.26$. Je zrejmé, že sa jedná o vysokú hodnotu, ktorá však v sebe zahrňuje straty



Obr.7. Priebeh teplotných gradientov v páliacom pásme po zaregulovaní.



Obr.8. Priebeh teplôt v páliacom pásme po zaregulovaní.

spaľovacieho vzduchu, unikajúceho netesnosťami tunelovej pece. Napriek tomu zistenie tejto hodnoty má praktické uplatnenie pre riadenie vysokoteplotného výpalu, ktorý pri nevhodných hodnotách „m“ nebolo možné realizovať.

Experimentálne boli stanovené pre jednotlivé materiály optimálne hodnoty „m“ a tieto sú potom systémom doporučované operátorovi.

Na základe aktuálnych hodnôt „m“ a „grad T“ môže operátor potom kvalifikovane posúdiť vhodnosť stavu procesu v tunelovej peci, ale aj vhodnosť svojich posledných akčných zásahov [Kostúr, Leššo a kol., 1994], [Kostúr, Stremeň a kol., 1996]:

- ak celkový gradient na jednej strane pece má opačné znamienko ako na strane druhej, je zle nastavený horákový systém,
- ak gradienty na začiatku páliaceho pásma rastú a na konci veľmi klesajú, je veľa vzduchu alebo málo paliva,
- ak gradienty na začiatku páliaceho pásma veľmi klesajú a na konci málo rastú, je málo vzduchu, ktorý potom vyhorí na posledných moduloch alebo je veľa paliva,
- ak klesá gradient po celom pásme na oboch stranách pece, došlo k zmene výhrevnosti paliva, t.j. treba zvýšiť alebo znížiť objem plynu.

Literatúra

- Malindžák,D.: Konceptia riešenia automatizácie a koordinácie grafikonov TSP, ZPO a NP. *s.r.o. Ocel' VSŽ a.s.Košice, 1993*
- Kostúr,K., Leško,I.: Racionalizácia riadenia tunelovej pece - expertný počítačový systém riadenia a monitorovania LeMon. *VSŽ a.s. Košice, 1993 , realizovaný projekt.*
- Advantech Co.: Users manual PC-LabCard, *USA, 1992.*
- Striewski,J.: Messdatenerfassung mit dem PC. *Vde-verlag gmbh, Berlin und Offenbach, 1992.*
- Lavrin,A.: Identifikácia systémov. *Skriptum VŠT Košice, 1985.*
- Leško,I.: Signalverarbeitung mit dem PC-Computer beim Monitoringssystem fur Tunellofen. *Internationales DAAAM Symposium, Maribor, 1994,s.514-519.*
- Dorčák,L., Prokop,J., Košťal,I.: Investigation of the properties of fractional-order dynamical systems ASR TP 94. *Košice, s.58-66.*
- Kostúr,K., Leško,I., Stremeň,M.: Modely pre minimalizáciu nákladov rekonštrukcie tunelovej pece. *Výskumná správa riešená v rámci grantu č.1/279/94 , KRVP FBERG TU Košice, 1994.*
- Kostúr,K., Stremeň,M., Vítek,V., Mičko,J., Pokorný,I., Šindler,V., Leško,V., Sali,P., Pepich,T.: Expertíza - energetická bilancia a modifikácia poradného riadiaceho systému TP č.1 po GO. *KRVP FBERG TU Košice, 1996, s.88.*